

Universidade de São Paulo
Instituto de Matemática e Estatística
Bacharelado em Ciência da Computação

Arquitetura dos Supercomputadores
- TOP 500 -

Steven Koiti Tsukamoto

São Paulo
2010

Steven Koiti Tsukamoto

Arquitetura dos Supercomputadores
- TOP 500 -

Monografia ao Curso MAC-0412 Organização de Computadores

Professor: Alfredo Goldman vel Lejbman

Monitor: Paulo Henrique Floriano

São Paulo

2010

Agradecimentos

Agradeço à Universidade por oferecer ambiente acadêmico,
ao professor e monitor pela oportunidade,
e aos colegas de classe pelo companheirismo.

Sumário

1. Introdução

2. Supercomputadores

2.1 Características

2.2 Os primeiros Supercomputadores

3. Top 500

3.1 Países

3.2 Áreas de aplicação

3.3 Sistemas Operacionais

3.4 Número de núcleos de Processamento

3.5 Arquiteturas

3.6 Interconexão

4. Exemplos de Supercomputadores

4.1 Tianhe-1A

4.2 Jaguar

4.3 Tupã

1. Introdução

Para entender a grandeza de uma supermáquina de processamento e as infinitas possibilidades de utilização, precisa-se antes entender como elas surgiram e quais são suas principais características.

Conhecendo então o que são os supercomputadores e como eles estão relacionados com a nossa realidade atual, poderemos então ver sua importância e os benefícios trazidos à humanidade.

2. Supercomputadores

Grande porte, enorme capacidade de memória e de processamento de informações, estas são algumas características de uma supermáquina da computação.

A vantagem de se ter um desses computadores com altíssima velocidade de processamento é a possibilidade de se fazer tarefas intensivas e cálculos complexos, como resolver problemas envolvendo física quântica, meteorologia, modelagem molecular e simulações físicas.

Um fato interessante é que os supercomputadores de hoje tendem a ser os computadores pessoais de amanhã. Um modelo quad-core Xeon de 2.66 Ghz, por exemplo, supera o supercomputador Cray C90, que valia milhões de dólares no começo da década de 90.

Ou seja, com o passar dos anos, pesquisas e avanços das tecnologias provocam a queda no custo das operações realizadas pelos computadores. Em 1961, o custo por GFLOPS era de US\$ 1 trilhão, enquanto que hoje em dia o custo é de apenas US\$0,13 .

2.1 Características

Como vimos, supercomputadores são únicos em vários aspectos, iremos ressaltar algumas dessas principais características.

2.1.1 Velocidade de Processamento

A velocidade de processamento de um supercomputador é medida em FLOPS (*Floating Point Operations Per Second*), ou seja, é quantidade de operações de ponto flutuante por segundo.

Os supercomputadores atuais atingem velocidades na grandeza dos petaflops (PFLOPS), o que equivale a quatrilhões de cálculos por segundo.

Para se ter uma ideia, o processamento de um computador pessoal chega nos 100 gigaflops (Core i7 980x da Intel), ou seja, cerca de 10 mil vezes menor que de um supercomputador.

2.1.2 Tamanho

A arquitetura moderna de supercomputadores envolve vários computadores interconectados e vários processadores trabalhando simultaneamente, o que requer instalações e sistemas de refrigeração especiais.

Eles chegam a ocupar salas inteiras. O supercomputador número 1 da lista TOP 500 (Tianhe-1A), por exemplo, tem 103 gabinetes do tamanho de uma geladeira, pesa 155 toneladas e ocupa uma área de 1.000 metros quadrados.

2.1.3 Clientes Usuais

O mercado de supercomputadores é bem restrito, os compradores geralmente são grandes centros de pesquisas, governos, universidade e agências militares.

Por exemplo, o supercomputador brasileiro Tupã, foi adquirido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que é um dos dois maiores institutos do país, com um dos 5 maiores centros de climatologia do mundo.

2.1.4 Constante Evolução

Desde que foi criada, em 1993, a lista Top 500 já teve 13 líderes, sendo que o maior tempo que um supercomputador permaneceu como o mais rápido foi cerca de 3 anos (Blue Gene/L da IBM). Outros como o Cray Jaguar e o IBM Roadrunner ficaram apenas 1 ano no topo da lista.

Constantemente vemos anúncios de que novas supermáquinas estão em construção e desenvolvimento, o que nos leva a conclusão de que esse setor está sempre avançando e evoluindo.

2.1.5 Preço Elevado

Atualmente, os supercomputadores chegam a custar até centenas de milhões de dólares. O Cray Jaguar custou 100 milhões de dólares, o preço equivalente a mais ou menos 85 mil computadores pessoais.

2.2 Os primeiros supercomputadores

Há muitas divergências quanto ao primeiro supercomputador que existiu. Vamos entender as três principais ideias do surgimento dessas máquinas.

2.2.1 IBM 704

Apresentado em 1955, esse computador foi o primeiro capaz de fazer operações de ponto flutuante. Dentre suas outras principais características, sua estrutura ainda utilizava válvulas e foi criada para ele a primeira linguagem de programação : o Fortran. O IBM 704 alcançava velocidade de “extraordinários” 5 KFLOPS.

2.2.2 Década de 60

A década de 60 foi uma época de grandes avanços, dentre eles, houve a transição das válvulas para os transístores. Cada transistor era centenas de vezes menor que uma válvula, era muito mais durável e tinha a vantagem de gerar menos calor. Alguns exemplos de supercomputadores que surgiram na época foi o CDC 6600 e o IBM 360/95.

2.2.3 Cray 1

Para muitos o Cray 1, lançado em 1976, foi o primeiro supercomputador da história. O supercomputador operava em 80MHz, tinha 8MB de memória RAM, chegava a fazer 250 MFLOPS e nele foi usado pela primeira vez o conceito de processamento vetorial.

A empresa desenvolvedora, a Cray Research, dominou o mercado de supercomputação durante 25 anos (1965-1990).

3. TOP 500

Rank	Site	Computer/Year Vendor	Cores	R _{max}	R _{peak}	Power
1	National Supercomputing Center in Tianjin China	Tianhe-1A - NUDT TH MPP, X5670 2.93GHz 6C, NVIDIA GPU, FT-1000 8C / 2010 NUDT	186368	2566.00	4701.00	4040.00
2	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Jaguar - Cray XT5-HE Opteron 6-core 2.6 GHz / 2009 Cray Inc.	224162	1759.00	2331.00	6950.60
3	National Supercomputing Centre in Shenzhen (NSCS) China	Nebulae - Dawning TC3600 Blade, Intel X5650, NVidia Tesla C2050 GPU / 2010 Dawning	120640	1271.00	2984.30	2580.00
4	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	TSUBAME 2.0 - HP ProLiant SL390s G7 Xeon 6C X5670, Nvidia GPU, Linux/Windows / 2010 NEC/HP	73278	1192.00	2287.63	1398.61
5	DOE/SC/LBNL/NERSC United States	Hopper - Cray XE6 12-core 2.1 GHz / 2010 Cray Inc.	153408	1054.00	1288.63	2910.00
6	Commissariat a l'Energie Atomique (CEA) France	Tera-100 - Bull bulx super-node S6010/S6030 / 2010 Bull SA	138368	1050.00	1254.55	4590.00
7	DOE/NNSA/LANL United States	Roadrunner - BladeCenter QS22/LS21 Cluster, PowerXCell 8i 3.2 Ghz / Opteron DC 1.8 GHz, Voltaire Infiniband / 2009 IBM	122400	1042.00	1375.78	2345.50
8	National Institute for Computational Sciences/University of Tennessee United States	Kraken XT5 - Cray XT5-HE Opteron 6-core 2.6 GHz / 2009 Cray Inc.	98928	831.70	1028.85	3090.00
9	Forschungszentrum Juelich (FZJ) Germany	JUGENE - Blue Gene/P Solution / 2009 IBM	294912	825.50	1002.70	2268.00
10	DOE/NNSA/LANL/SNL United States	Cielo - Cray XE6 8-core 2.4 GHz / 2010 Cray Inc.	107152	816.60	1028.66	2950.00

O projeto Top 500 é um ranking dos 500 supercomputadores mais poderosos do mundo. O projeto iniciou-se em 1993, e publica uma lista atualizada a cada seis meses. A primeira atualização do ano ocorre em Junho, coincidindo com a International Supercomputer Conference, e a segunda em Novembro, na IEEE Supercomputer Conference.

Na última lista do Top 500, divulgada em Novembro de 2010, o supercomputador mais poderoso é o Tianghe-1A da China, que atingiu 2,5 PFLOPS. Em segundo lugar está o Jaguar – Cray que até então estava no topo (desde novembro de 2009). Esses dois supercomputadores serão melhor analisados em uma seção seguinte.

Veremos agora certos aspectos vistos na lista Top 500.

3.1 Países

Nota-se que os Estados Unidos, desde o começo da lista top 500, lidera como o país com mais supercomputadores (mais de 50%). Outros países com número significativo são o Japão e China na Ásia, e Alemanha, Reino Unido e França na Europa.

3.2 Áreas de Aplicação

São várias as áreas de aplicações de um supercomputador, como por exemplo, na parte de pesquisas militares, científica, química, medicina ou física.

São muito importantes na parte de investigação, permitindo analisar a ordem do genoma, o número pi, números complexos ou até mesmo simulações de armamento nuclear.

3.3 Sistemas Operacionais

Na última lista lançada do top 500, 82% dos supercomputadores utilizam o sistema Linux como sistema operacional. Em muitos casos não existem indicações de qual distribuição Linux está sendo usada, mas entre os computadores com sistema operacional específico, a distribuição Suse Linux domina. Alguns outros supercomputadores utilizam sistemas desenvolvidos internamente, como é o caso do Cray Linux Environment (versão Linux da Cray).

3.4 Número de núcleos de processamento

Cada vez mais o número de núcleos continuam a aumentar. Computadores como o Tianhe-1A e o Jaguar possuem 186.368 e 224.162 núcleos de processamento, respectivamente.

3.5 Arquiteturas

As arquiteturas utilizadas nos supercomputadores atuais são o cluster e o MPP (Massively Parallel Processor).

3.5.1 Cluster

Um cluster é formado por um conjunto de computadores, que utiliza um tipo especial de sistema operacional classificado como sistema distribuído. Muitas vezes é construído a partir de computadores convencionais, os quais são ligados em rede e juntos trabalham como se fossem uma única máquina de grande porte.

3.5.2 MPP

Os MPPs (Massively Parallel Processors) são multicomputadores NORMA construídos com milhares de processadores comerciais conectados por uma rede de alta velocidade. O alto desempenho é obtido com o grande número de processadores. O fato de haver troca de mensagens torna a programação mais difícil que nos casos em que a memória é compartilhada.

3.6 Interconexão

As interconexões utilizadas são o Gigabit Ethernet e o Infiniband.

3.6.1 Gigabit Ethernet

A tecnologia Gigabit Ethernet é uma ótima opção para redes de telecomunicação de alta velocidade. A migração das tecnologias Ethernet e Fast Ethernet para a tecnologia Gigabit Ethernet não exige grande investimento, já que as especificações técnicas são mantidas.

3.6.2 Infiniband

O InfiniBand é um barramento serial que oferece 2.5 Gigabits (312 MB/s) por segundo por par de cabos, onde um envia e outro recebe dados. Como a comunicação

é bidirecional, temos 312 MB/s em cada sentido, totalizando um barramento total de 625 MB/s, mas que poderia ser utilizado plenamente apenas caso ambos os dispositivos transmitissem grandes quantidades de dados ao mesmo tempo.

Também é possível aumentar a largura do barramento usando mais cabos, A especificação original fala em links com até 12 pares, que permitiria links de até 3.75 GB/s em cada sentido.

4. Exemplos de Supercomputadores

Nesta seção vamos analisar 3 supercomputadores: os dois mais poderosos do mundo e o 29º da lista Top 500 (supercomputador brasileiro, Tupã).

4.1 Tianhe-1A

O Tianhe-1A está localizado no Centro Nacional de Supercomputadores, em Tianjin (China), e ocupa a primeira colocação no ranking Top-500. Foi desenvolvido pela Universidade Nacional de Defesa e Tecnologia (NUDT), com a ajuda da Nvidia.

Uma das novas tendências dos supercomputadores é de eles estarem se tornando híbridos, ou seja, construídos com uma mistura de CPUs e GPUs. O supercomputador chinês utiliza 7.168 GPUs Nvidia Tesla e 14.336 CPUs Intel Xeon, totalizando em um desempenho de 2,5 petaflops. Sua performance equivale a de 175 mil laptops ou 50 mil processadores, o que consumiria cerca de 12 megawatts de potência. Porém, ao utilizar esse modelo heterogêneo, mesclando GPUs paralelas com CPUs multicore, foi possível obter maior desempenho e eficiência energética, gastando 4 megawatts de potência (três vezes mais eficientes em termos energéticos).

Os cientistas chineses não consideram a supermáquina pronta, eles pretendem adicionar centenas ou até milhares de processadores chineses, chamados Feiteng-1000, que deverão aumentar ainda mais o desempenho. Esse alto processamento será utilizado em dados sísmicos para exploração de petróleo, pesquisas médicas e projeto de novos aviões.

4.2 Jaguar

O supercomputador Cray XT5, também conhecido como Jaguar, ocupa a segunda colocação nos computadores mais poderosos do mundo. Ele possui 37.376 processadores AMD six-core Istanbul Opteron e 7.832 processadores AMD quad-core Opteron, que resultam em uma capacidade de 1,76 PFLOPS. Além disso o sistema todo tem 362 terabytes de memória RAM e 10 petabytes de disco rígido compartilhado.

O mais interessante é que este supercomputador surgiu a partir de 3 grandes

atualizações. Começando como um sistema de apenas 26 TFLOPS em 2005, o Jaguar foi atualizado para 119 TFLOPS em 2006 e 263 TFLOPS em 2007 com tecnologia Cray XT4. Em 2008, ele foi expandido com a adição do Cray XT5 com 1,4 PFLOPS. Finalmente em 2009, as duas partes XT do Jaguar foram combinadas em um único sistema usando uma rede Infiniband.

Uma das grandes características do Jaguar é ele ser dedicado à pesquisa aberta, cientistas de centros de pesquisa, universidades, empresas, governos e organizações sem fins lucrativos podem usar o poder computacional em seus projetos.

4.3 Tupã

Adquirido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o supercomputador brasileiro nomeado Tupã está na 29ª posição do Top 500, a mais alta colocação já alcançada por uma máquina instalada no Brasil. O valor total do investimento foi de cerca de R\$ 50 milhões, sendo R\$ 35 milhões financiados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (por meio da Finep) e os outros R\$ 15 milhões com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

O supercomputador tem um desempenho de 244 TFLOPS, o equivalente a trilhões de cálculos por segundo. Para se ter uma ideia da grande capacidade de processamento adquirido, o antigo computador da unidade que recebeu a supermáquina Tupã tinha um desempenho de apenas 6 TFLOPS. Atualmente ele é o terceiro mais poderoso entre os supercomputadores dedicados à previsão numérica operacional de tempo e de clima sazonal, e o oitavo em aplicações para mudanças climáticas, possibilitando ao Brasil a oportunidade de gerar cenários futuros de clima que apoiarão o quinto relatório do IPCC (painel da ONU que avalia consequências do aquecimento global).

Ou seja, com o Tupã, o INPE poderá gerar previsões de tempo com mais antecedência, confiabilidade e qualidade, ampliando o nível de detalhamento para 5 km na América do Sul e 20 km para o globo terrestre. Fenômenos da natureza como chuvas intensas, geadas e secas serão previstas com maior facilidade, beneficiando tanto aos centros de pesquisas quanto à população e o país.

Conclusão

Vimos que a tecnologia de supercomputadores busca reduzir o tamanho dos seus componentes, tornando as possibilidades mais viáveis para usuários domésticos. Isso não quer dizer que teremos um Jaguar como computador pessoal, mas com a constante evolução dos computadores, podemos ter uma máquina de mesmo desempenho em um futuro não tão distante.

Vimos também que as áreas de aplicações de um supercomputador são diversas, que podem possibilitar importantes descobertas nas áreas da ciência. E em alguns casos beneficiando países e a vida das pessoas.

Uma importante observação é a preocupação com o desenvolvimento de máquinas não só potentes, mas preocupadas ao mesmo tempo com desempenho e eficiência energética. Supercomputadores híbridos estão se tornando cada vez mais comuns no topo dos mais poderosos, vindo assim uma provável tendência do futuro.

Referências

supercomputador - <http://pt.wikipedia.org/wiki/Supercomputador>

supercomputador - <http://www.baixaki.com.br/tecnologia/2182-o-que-sao-e-para-que-sao-usados-os-supercomputadores.htm>

velocidade de processamento - <http://pt.wikipedia.org/wiki/Computador>

top 500 - <http://www.top500.org/>

historia dos supercomputadores -
<http://www.guiadohardware.net/termos/supercomputador>

Tianhe-1A - <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=supercomputador-mais-rapido-mundo-china&id=010175101029>

Tianhe-1A - <http://pt.wikinoticia.com/Tecnologia/geral%20tecnologia/63285-a-china-tem-o-supercomputador-mais-poderoso-do-mundo>

GPUs Nvidia no Top 500 - <http://blogs.forumpcs.com.br/noticias/2010/11/30/gpus-nvidia-equipam-tres-dos-cinco-maiores-supercomputadores-do-mundo/>

Jaguar - <http://www.nccs.gov/jaguar/>

Jaguar - http://en.wikipedia.org/wiki/Jaguar_%28computer%29

Tupã - http://www.ie.org.br/site/noticia.php?id_sessao=4&id_noticia=4474

Tupã - <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/meta.php?meta=Supercomputadores>